

*22^{ème} Congrès Français de Mécanique**Lyon, 24 au 28 Août 2015*

Étude du comportement collectif de bactéries magnéto-tactiques en situation de congestion

Ronan Kervil^a Nicolas Waisbord^b Paul Epron^c Christophe Ybert^d Cécile Cottin-Bizonne^e

a. Institut Lumière Matière ronan.kervil@univ-lyon1.fr

b. Dept. of Mechanical Engineering Tufts University
nicolas.waisbord@tufts.edu

c. Institut Lumière Matière paul-benjamin.epron@etu.univ-lyon1.fr

d. Institut Lumière Matière cecile.cottin-bizonne@univ-lyon1.fr

e. Institut Lumière Matière christophe.ybert@univ-lyon1.fr

Résumé :

Les phénomènes de congestion et de bouchon se retrouvent à différentes échelles, dans les milieux granulaires, les suspensions colloïdales ou les mouvements de foules. Lorsque des congestions surviennent, cela entraîne généralement des pertes économiques ou humaines. C'est pourquoi il est important de comprendre les propriétés dynamiques de ces événements. De nombreux travaux ont été effectués en étudiant la congestion de particules dans des restrictions géométriques (entonnoir, trémie etc.). Nous reproduisons expérimentalement ce type de situation avec des suspensions de bactéries magnéto-tactiques qui présentent l'avantage de pouvoir être pilotées par le champ magnétique. Dans cette présentation, nous nous intéressons aux flux de bactéries passant par la restriction et nous décrivons les différentes étapes de congestion du système en indiquant les effets collectifs observés.

Abstract :

We can observe congestion and jamming phenomena through different scales such as granular matter, colloidal suspension or panic crowd. Understanding dynamic properties of congestion is important to predict or avoid economic or human loss. That is why several studies of congestion of discrete bodies through bottlenecks have been done over the last decade. In our case we investigate a congestion experiment with a suspension of magnetotactic bacteria MC-1 in a microfluidic funnel. We will focus on the funnel output where collective behavior is observed through their velocity profile.

Mots clefs : collective behaviour, congestion, jamming, magnetotactic bacteria, microfluidic.

1 Introduction

Une suspension de bactéries magnétotactique se révèle être un matériel adéquat afin d'étudier la physique des mouvements collectifs à l'échelle micrométrique. Ces bactéries sont magnéto-sensibles, ceci est dû aux magnétosomes présents dans leur membrane qui impliquent une orientation de leur nage suivant les lignes du champ magnétique. Plus le champ magnétique perçu est fort, plus la nage de bactéries sera focalisée suivant sa direction. Cette matière active "piloteable" par un champ magnétique externe permet de reproduire avec un système biologique des situations de comportement collectifs que nous connaissons à l'échelle humaine comme les mouvements de panique ou encore les embouteillages. Dans ce résumé nous nous intéresserons au processus de congestion de bactéries dans une géométrie d'entonnoir, aux effets de cette congestion sur le flux sortant de cet entonnoir et enfin à l'impact de la densité de particule sur la vitesse de nage des bactéries.

2 Congestion

2.1 Description de l'expérience de jamming

L'expérience de congestion de bactéries magnétotactiques est effectuée dans une puce microfluidique placée au centre de bobines de Helmholtz. La cellule microfluidique est scellée de manière à ce qu'il n'y ait aucun flux de liquide dans le canal. La géométrie du canal est en forme d'entonnoir afin d'optimiser la congestion de bactéries. Pour procéder à la congestion il est nécessaire de concentrer un grand nombre de particule à l'entrée de l'entonnoir puis de les diriger à travers celui-ci. Ceci se fait à l'aide des bobines qui génèrent des champs opposés lors de la concentration en bactéries et de même direction pendant l'expérience.

Lorsque que le canal est congestionné, nous pouvons constater à l'entrée du système une accumulation de bactéries due à la saturation en bactéries à l'intérieur de l'étranglement. Cette saturation ne nous permet pas de caractériser une densité par traitement d'image. Néanmoins en sortie d'entonnoir la concentration est plus faible et permet de relier la densité de particule avec le niveau de gris de nos images et ainsi d'effectuer une analyse quantitative du flux de bactéries en sortie d'entonnoir. Nous détaillerons ceci dans le prochain paragraphe.

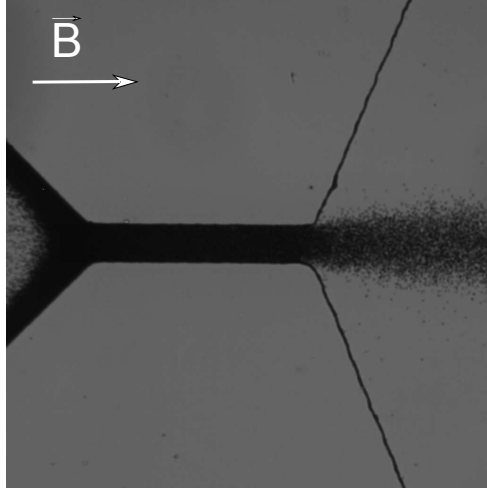


Figure 1: Image d'un canal congestionné avec des bactéries magnétotactique, la largeur de l'étranglement est de $50\mu m$

2.2 Dépendance du flux de bactéries avec le champ magnétique et la taille du canal

Le flux sortant de bactéries $\phi = \int \rho.vdx$ est calculé de la manière suivante. Les vitesses sont obtenues par PIV en utilisant le logiciel PIVlab, les densités sont déduites de l'intensité. Les images utilisées pour mesurer densité et vitesses sont choisies lorsque le jet est stationnaire, c'est à dire qu'à champ magnétique fixe, l'intensité moyenne du jet est stationnaire. Les expériences sont réalisées avec la même colonie de bactéries. Seule la puce microfluidique change lorsque la largeur du canal change. Nous utilisons des canaux de trois largeurs différentes $25, 50$ et $100\mu m$, nous faisons varier le champ magnétique entre 0.35 et $3.5mT$. Nous avons vérifié que la densité en particule est proportionnelle au niveau de gris de nos images.

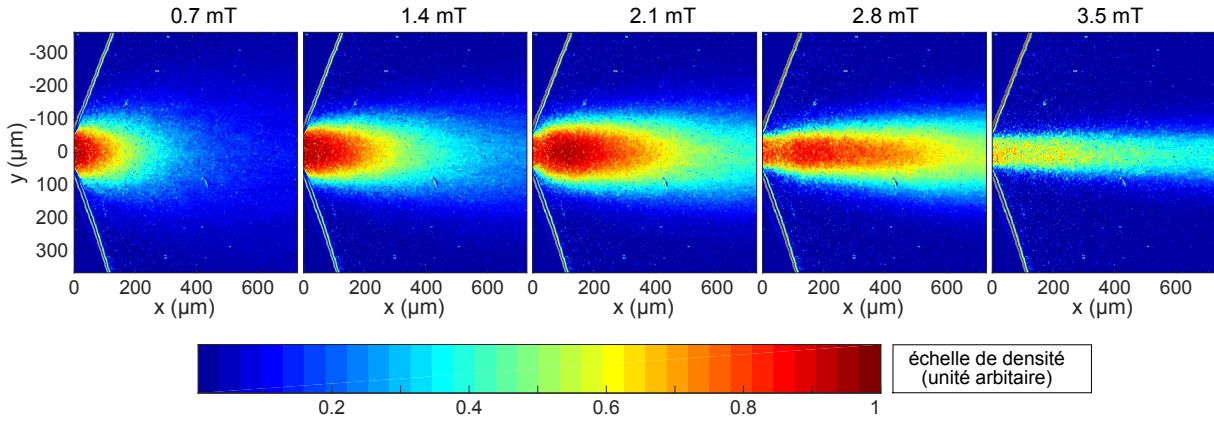


Figure 2: Images moyennées du jet de bactéries sortant d'un canal de $100\mu\text{m}$ d'épaisseur, chaque insert correspond à un champ magnétique différent allant de 0.7mT à 3.5mT . On remarque que plus le champ magnétique est grand, plus la focalisation du jet est importante.

En combinant les vitesses obtenus par PIV et les profils de densité nous obtenons le flux de bactéries pour chaque géométrie de canal et chaque champ magnétique appliqué (figure 3). Ces flux ne varient quasiment pas en fonction du champ ce qui est d'un premier abord assez contre-intuitif. En revanche le flux augmente en fonction de la largeur du canal.

2.3 Effets de la densité de particule

Les profils de vitesses en sortie d'entonnoir sont très intéressants car ils illustrent un effet collectif dépendant de la densité. En effet au centre du jet de bactéries la vitesse de nage diminue (cf figure 3). Ce comportement est accentué avec l'augmentation du champ magnétique.

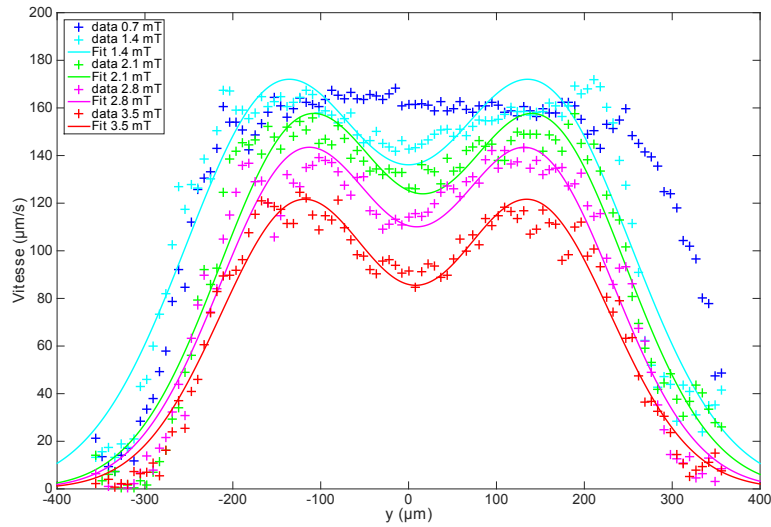


Figure 3: *Profils de vitesses horizontales d'un jet de particule sortant d'un canal de 100 µm de largeur mesuré à 600 µm de sa sortie*

Deux critères peuvent expliquer ce minimum local de vitesse au centre du jet. En effet, les bactéries sont contraintes d'une part par le champ magnétique au niveau de la direction de nage, d'autre part par le nombre de voisins qui au centre du faisceau de bactéries est maximal.

Conclusions

Cette expérience de congestion de suspensions de bactéries magnéto-tactiques nous permet d'observer des phénomènes de mouvement collectifs intéressants illustrant l'influence de la densité sur les vitesses de nage des bactéries. Il serait intéressant de vérifier si on retrouve cet effet dans d'autres systèmes actifs congestionnés tels que des troupeaux ou des piétons.

References

- [1] A.J. Liu,S.R. Nagel, *Jamming is not just cool anymore*. Nature 396, 21-22,1994.
- [2] K. To, P.Y. Lai,H.K. Pak, *Jamming of granular flow in a two-dimensional hopper*. Phys. Rev. Lett. 86, 71-74, 2001.
- [3] E. Altshuler et al, *Flow-controlled densification and anomalous dispersion of E. coli through a constriction*. Soft Matter 9, 1864, 2013.
- [4] I. Zuriguel et al, *Clogging transition of many particle systems flowing through bottlenecks*. Scientific Reports, 2014.